

폐콘크리트 미분말을 활용한 자기충전 콘크리트의 강도특성에 관한 연구

A Study on the Strength Properties of Self-Compacting Concrete Utilizing Waste Concrete Powder

최연왕* 문대중** 김성수*** 김기형**** 문한영*****
Choi, Yun Wang Moon, Dae Joong Kim, Sung Su Kim, Ki Hyung Moon, Han Young

ABSTRACT

Compressive strength of self-compacting concrete with waste concrete powder(SCCWCP) linearly decreased as the containing ratio of WCP increases. When granulated blast furnace slag(SG) was contained for improving the rheological properties of SCCWCP, compressive strength of concrete with 15% SG and 15% WCP was increased in comparison with that of concrete with 30% WCP. Splitting tensile strength of SCCWCP higher increased than that of CEB-FIP at same compressive strength. Relationship between compressive strength and elastic modulus of SCCWCP indicated a similar function with CEB-FIP function.

1. 서론

건설산업이 발전함에 따라 건설폐기물은 급증하고 있으며, 그 중에서 폐콘크리트 양은 약 70%를 차지하므로 저구의 환경보전 및 자원의 재활용 관점에서 폐콘크리트를 콘크리트용 원료로 재활용할 수 있는 기술의 구축이 절실하다. 현재 국내에서는 청계천 복원사업으로 많은 양의 콘크리트 폐기물이 발생되고 있음에도 불구하고 이를 재활용하기 위한 처리가 제대로 이루어지고 있지 않으며, 더욱이 폐콘크리트 분말에 대한 인식 부족으로 전량 매립, 폐기처분되고 있는 실정이다.

폐콘크리트를 콘크리트용 굵은골재 및 잔골재로 파쇄하는 과정에서 발생하는 폐콘크리트 분말은 2차 산업부산물로 시멘트 원료 및 고유동 콘크리트의 혼화제로 활용¹⁾할 수 있는 고부가가치 재료이나 현재는 단순 매립되거나, 습식파쇄시 발생하는 하수관으로 방류되어 2차 환경오염의 원인제공이 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이와 같은 폐콘크리트 분말을 자기충전 콘크리트(이하 SCC라 약함)용 혼화제로 사용하기 위한 연구의 일환으로 폐콘크리트 분말이 SCC²⁾의 강도특성에 미치는 영향을 고찰하였으며, SCC의 유변학적 성능을 개선하기 위하여 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 SCC의 강도특성에 대하여 실험을 실시하여 고찰하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 분체계 결합재

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC라 약함)를 사용하였고, 분체계 결합재로 페콘크리트 분말(이하 WCP라 약함) 및 고로슬래그 미분말(이하 SG라 약함)을 사용하였으며 OPC, WCP 및 SG의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 분체계 결합재의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	Insol. (%)	L.O.I (%)	Surface area (cm ² /g)	Specific gravity
OPC	61.40	21.60	6.00	3.40	3.10	2.50	0.21	0.03	3,539	3.15
WCP	24.63	7.09	2.26	1.16	1.32	1.09	44.58	17.43	1,360	2.49
SG	44.12	32.30	14.80	5.50	0.40	1.00	0.62	0.54	4,580	2.88

2.1.2 골재

굵은 골재 최대치수는 20mm인 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 단위용적중량이 1,637kgf/m³이고 비중이 2.55인 예천산 강모래를 사용하였다.

2.2 콘크리트 배합

SCC성능평가를 만족하는 기준배합은 JSCE의 "자기충전형 콘크리트의 시험방법(안)"³⁾ 2등급 성능기준을 선정하였으며, 이러한 기준을 만족시키는 배합을 결정하기 위하여 예비배합을 실시한 결과 골재채움률¹⁾(PF) 1.14, 잔골재율 S/a=51%, 물/분체비 38%인 기준배합을 결정하였다. WCP의 혼합률은 시멘트에 대하여 부피비 15, 30 및 45%로 변화시켰으며, 유동성과 충전성능을 향상시키기 위하여 WCP의 혼합률에 따라 SG를 시멘트에 대하여 각각 15%로 혼합한 배합을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 WCP 활용 콘크리트의 압축강도

WCP의 혼합률에 따른 SCC의 압축강도를 정리한 그림 1에서, 혼합률이 증가함에 따라 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은 WCP중의 미수화 시멘트에 의한 2차 수화반응이 강도에 영향을 거의 미치지 않기 때문이라고 판단된다.

WCP의 재령에 따른 SCC의 압축강도를 정리한 것이 그림 2이다. WCP를 혼합하지 않은 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 약 40MPa였으며, WCP를 15% 혼합한 경우 약 90% 정도의 강도발현을 나타내었다. 또한, 재령별 콘크리트의 압축강도는 결정계수가 0.9 이상의 자연로그 함수로 표현된다. 이때의 실험상수와 결정계수를 정리한 것이 표 2이다. 실험상수 A와 B는 WCP의 혼합률에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

WCP 활용 SCC의 압축강도를 재령과 WCP의 혼합률의 관계로 동시에 표현하기 위하여 표 2의 실험상수와 WCP의 혼합률과의 관계로 정리한 것이 그림 3 및 그림 4이다. 이들 그림에서 실험상수 A와 B를 WCP의 혼합률과의 관계는 선형적으로 감소하는 상관관계를 가지며, 결정계수는 0.97 및 0.94의 매우 양호한 상관관계를 보이고 있으며, 이로써 본 연구 배합에서 콘크리트 재령 28일까지의 압축강도를 추정하는 관계식을 얻을 수 있었다.

표 2 재령별 압축강도의 분석결과

WCP (%)	f _c =A · ln(x)+B		
	A	B	R ²
0	5.60	22.09	0.93
15	4.73	20.96	0.92
30	3.85	15.82	0.90
45	3.51	10.53	0.98

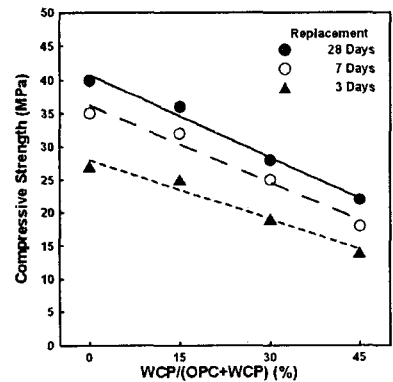


그림 1 혼합률에 따른 압축강도

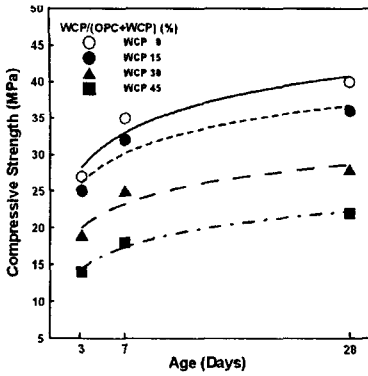


그림 2 재령에 따른 압축강도

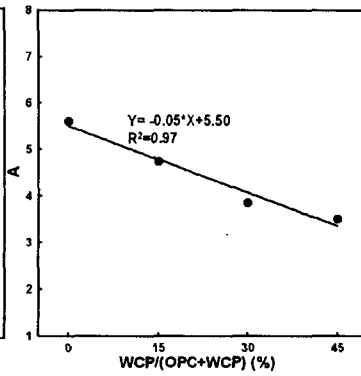


그림 3 혼합률과 상수A의 관계

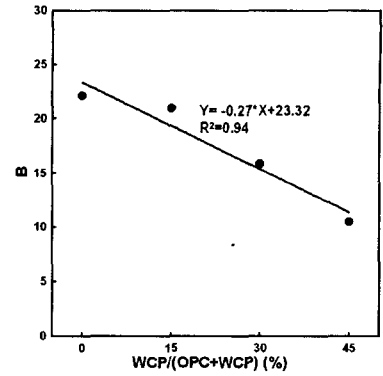


그림 4 혼합률과 상수B의 관계

3.2 유변학적 성능을 개선한 페콘크리트 분말 활용 콘크리트의 압축강도

SG를 혼합하여 제조한 SCC의 WCP의 혼합률에 따른 압축강도를 정리한 것이 그림 5이다. SG를 혼합한 압축강도는 WCP만을 사용한 콘크리트와 동일한 경향으로 WCP의 혼합률에 따라 직선적으로 감소하였다. 그러나 동일한 단위시멘트량에 대하여 비교한 결과 WCP 15%와 SG 15%를 혼합한 콘크리트의 재령28일 압축강도는 32MPa로 그림 1의 WCP만을 30% 혼합한 콘크리트에 비하여 28일 압축강도는 약 15%정도 크게 나타났다. 이러한 경향은 SG의 잠재수경성에 의해 수산화칼슘이 소비되고 칼슘실리케이트 수화생성물이 생성되었기 때문으로 판단된다. SG를 혼합하여 제조한 SCC의 재령에 따른 압축강도를 정리한 것이 그림 6이다. WCP 혼합률에 SG를 추가적으로 혼합하여 단위시멘트량의 감소로 WCP 45% 혼합한 경우 재령 28일 압축강도가 18MPa로 기준압축강도에 비하여 약 45%정도 밖에 발현되지 않은 것으로 판단된다.

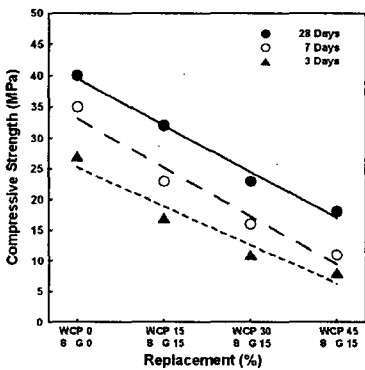


그림 5 혼합률에 따른 압축강도

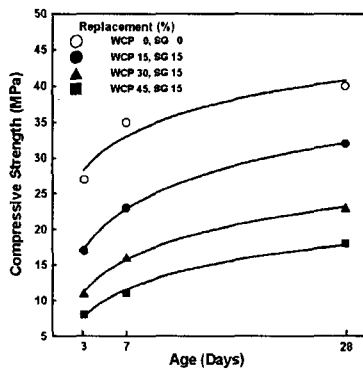


그림 6 재령에 따른 압축강도

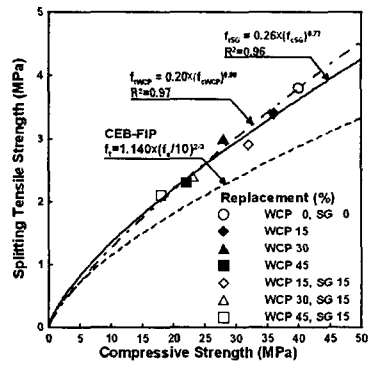


그림 7 압축강도와 인장강도와의 관계

이러한 재령별 압축강도를 자연로그 함수로 표현할 때의 실험상수와 결정계수를 정리한 것이 표 3이다. 표 3에서도 표 2와 같이 실험상수 A와 B는 WCP의 혼합률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 또한, 결정계수도 0.9 이상의 양호한 상관관계를 보였다.

3.3 압축강도와 인장강도 및 탄성계수와의 관계

그림 7에서 WCP 활용 SCC의 압축강도와 인장강도와의 관계는 CEB-FIP에 비하여 동일한 압축강도에서 인장강도가 크게 나타났다. 그림 8에서 WCP 활용 SCC의 압축강도와 탄성계수와의 관계는 WCP만을 사용한 경우 CEB-FIP에서 제시한 함수와 유사한 경향을 보였다. 또한, SG를 혼합한 경우 국내 콘크리트 시방서에서 제시한 함수와 근사한 관계를 보였다.

표 3 재령별 압축강도의 분석결과

WCP (%)	SG (%)	$f_c = A \cdot \ln(x) + B$		
		A	B	R ²
0	0	5.60	22.09	0.93
15	15	6.69	9.77	1.00
30	15	5.34	5.31	1.00
45	15	4.53	2.70	0.99

4. 결론

- 1) 폐콘크리트 분말만을 혼합한 자기충전콘크리트의 재령 28일 압축강도는 혼합률이 15%씩 증가함에 따라 약 20%의 강도 감소가 나타났다.
- 2) 폐콘크리트 분말 15% 및 고로슬래그 미분말 15%를 혼합한 경우 폐콘크리트 분말만을 30% 혼합한 경우보다 약 10%의 강도증진 효과가 나타났다.
- 3) 폐콘크리트 분말 활용 자기충전콘크리트의 인장강도는 CEB-FIP에 비하여 동일한 압축강도에서 인장강도가 크게 나타났고, 폐콘크리트 분말만을 활용한 자기충전콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계는 CEB-FIP에서 제시한 함수와 유사한 경향이 나타났다.

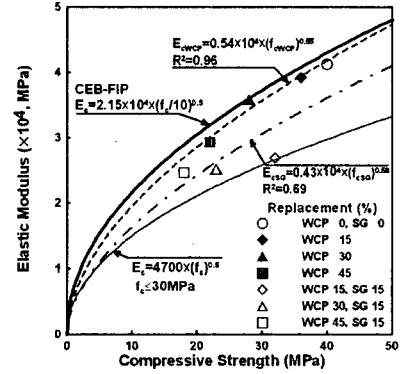


그림 8 압축강도와 탄성계수와의 관계

감사의 글

본 연구는 건설교통부 2003년도 건설혁신기술연구과제(C103A2000019-03A0200-01920) 「폐콘크리트 분말을 자기충전 콘크리트 및 흙도로포장 재료로 활용하기 위한 건설폐기물 재활용 촉진기술 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최연왕 외 4인, “골재 채움율과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합,” 한국 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제 14권 2호, 2002, pp. 549-554
2. 문대중 외 2인, “폐콘크리트 분말 사용 모르타르의 역학적 특성,” 한국지구시스템공학회지, 제 40권 6호, 2003, pp. 438-445
3. Japanese Society of Civil Engineering Guide to Construction of high Flowing Concrete, Gihoudou Pub., Tokyo, 1998.